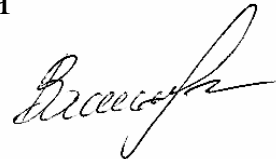


Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та природокористування

ВАСИЛЕНКО ВАДИМ БОРИСОВИЧ



УДК 624.014:624.042 (043.3)

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЕРФОРОВАНИХ ПРОГОНІВ
Z-ПОДІБНОГО ПРОФІЛЮ В УМОВАХ КОСОГО ЗГИНУ

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Рівне – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті водного господарства та природокористування (м. Рівне) Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент
Романюк Володимир Володимирович,
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Семко Олександр Володимирович,
Полтавський національний технічний університет Імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, декан архітектурного факультету, завідувач кафедри архітектури та міського будівництва

кандидат технічних наук, доцент
Пелешко Іван Дмитрович,
Національний університет „Львівська політехніка”, м. Львів, доцент кафедри будівельного виробництва

Захист відбудеться „16” жовтня 2015 р. об 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 47.104.06 в Національному університеті водного господарства та природокористування за адресою: 33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11, навч. корпус № 6, ауд. 673.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного університету водного господарства та природокористування за адресою: 33028, м. Рівне, вул. Приходька, 75.

Автореферат розісланий „10” вересня 2015 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 47.104.06,
к.т.н., доцент



О.М. Бордюженко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Широке використання металевих конструкцій у сучасному будівництві зумовлене їх підвищеною ефективністю та економічністю, які досягаються в першу чергу за рахунок відносної легкості матеріалу, значно меншої трудоемності виготовлення, використання стандартних транспортних засобів для перевезення, швидкісного монтажу та порівняно невеликих витрат під час експлуатації. Задоволення економічних потреб досягається шляхом зниження маси конструкцій, підвищення рівня їх технологічності та продуктивності праці на всіх етапах, починаючи з проектування і закінчуючи монтажем, що в комплексі дозволяє зменшити терміни будівництва і, таким чином, отримати додатковий економічний ефект від більш раннього початку експлуатації об'єкта. Окрім того, робота металевих конструкцій є прогнозованою у часі за різних умов їх експлуатації, оскільки однорідність структури сталі та існуючі методи розрахунку та виконання робіт дозволяють це передбачити.

Застосування легких покрівельних матеріалів та виробів, таких як профільовані листи, різноманітні утеплювачі, а також виконані на їх основі тришарові панелі типу „сендвич”, вимагають використання прогонів для їх обпирання, які з огляду на ухили покрівель громадських і виробничих будівель найчастіше працюють в умовах складного напружено-деформованого стану, а саме косого згину, і які характеризувалися б порівняно невеликими витратами сталі.

Прагнення отримати такі конструкції, які є економічними та водночас ефективними, призвело до розробки концепції легких сталевих конструкцій, що втілена в низці нових конструктивних форм, серед яких чільне місце обіймають перерізи, виконані на основі прокатних та гнутих профілів. Вони характеризуються малою вагою та потоковими методами виготовлення, завдяки чому значно скорочуються терміни будівництва та зменшуються транспортні витрати. Одними з таких ефективних видів перерізів є розвинуті або перфоровані профілі, що можуть використовуватися як прогони у несучих конструкціях покриття.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України в галузі оцінювання технічного стану будівель та споруд згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 409 від 05.05.1997 р. „Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж”. Проведені експериментально-теоретичні дослідження є одним з етапів робіт, які включені в план наукових досліджень і виконуються на кафедрі промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд Національного університету водного господарства та природокористування щодо вивчення дійсної роботи перфорованих елементів, а також конструкцій на їх основі відповідно до тематики комплексних тем „Розробити нові та удосконалити існуючі методи розрахунку будівельних конструкцій, включаючи підсилені, при дії одноразових та повторних навантажень” (державний реєстраційний номер 0112U001122) та „Дослідження роботи та удосконалення методів розрахунків будівельних конструкцій при різних режимах зовнішніх впливів” (державний реєстраційний номер 0107U004181).

Мета і задачі досліджень. Вивчення роботи і напружено-деформованого стану перфорованого прогону Z-подібного профілю в умовах косого згину та розробка методики його розрахунку на основі проведення комплексних експериментально-теоретичних досліджень.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити такі задачі:

1) виконати аналіз існуючих конструктивних рішень перфорованих конструкцій та їх експериментально-теоретичних досліджень за різних видів напружено-деформованого стану, а також конструкцій, що працюють в умовах косого згину;

2) розробити та обґрунтувати конструктивну форму перфорованого прогону покриття Z-подібного профілю для покрівель з ухилом в межах $0^\circ \dots 25^\circ$ на основі існуючих рекомендацій щодо встановлення раціональних параметрів розрізу вихідного прокатного швелера;

3) виконати теоретичні дослідження напружено-деформованого стану перфорованих елементів, що працюють в умовах косого згину, за методом скінчених елементів у програмному комплексі „Ліра”;

4) провести комплексні експериментальні дослідження розробленої конструкції прогону на зразку, що виконаний в натуральну величину, з метою визначення дійсного напружено-деформованого стану та виконати порівняльний аналіз результатів експериментальних та теоретичних досліджень;

5) розробити методику розрахунку перфорованих елементів Z-подібного профілю в умовах косого згину за граничними станами першої і другої груп з урахуванням і без урахування закріплення із площини конструкції;

6) розробити рекомендації щодо розрахунку перфорованого прогону Z-подібного профілю в умовах косого згину за граничними станами першої і другої груп.

Об’єкт досліджень – сталевий перфорований прогон Z-подібного профілю прольотом 6 м, виконаний на основі прокатного швелера №22У/ДСТУ 3436–96 з коефіцієнтом розвитку висоти профілю 1,2.

Предмет досліджень – робота, несуча здатність та напружено-деформований стан перфорованого прогону Z-подібного профілю в умовах косого згину за кутів нахилу покрівлі в межах $0^\circ \dots 25^\circ$.

Методи досліджень: аналіз літературних джерел; теоретичні та числові дослідження, у тому числі за методом скінчених елементів у програмному комплексі „Ліра”; експериментальні дослідження напружено-деформованого стану перфорованої конструкції із застосуванням сучасних методів, зокрема методу тензорезистивного вимірювання деформацій для визначення напружень, методу прямого заміру переміщень прогиномірами та індикаторами для визначення прогинів згідно з чинними нормативними та інструктивними документами та загальноприйнятими методиками; порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) розроблено та обґрунтовано конструктивну форму перфорованого прогону покриття Z-подібного профілю для покрівель з ухилом в межах $0^\circ \dots 25^\circ$ на основі існуючих рекомендацій щодо встановлення раціональних параметрів розрізу вихідного прокатного швелера;

2) розроблено методику розрахунку перфорованих елементів Z-подібного профілю в умовах косого згину за граничними станами першої і другої груп на основі теоретичних та числових досліджень напружено-деформованого стану таких конструкцій за методом скінчених елементів у програмному комплексі „Ліра”.

3) вперше отримано нові експериментальні дані про напружено-деформований стан сталей перфорованих прогонів Z-подібного профілю в умовах косого згину на основі проведення комплексних експериментальних досліджень розробленої конструкції на зразку, що виконаний в натуральну величину, та виконано порівняльний аналіз результатів експериментальних та теоретичних досліджень;

4) розроблено рекомендації щодо розрахунку перфорованого прогону Z-подібного профілю в умовах косого згину за граничними станами першої і другої груп.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій. Достовірність результатів експериментальних досліджень підтверджується методикою їх проведення, розробленою на підставі чинних нормативів і стандартів, та застосуванням сучасних контрольно-вимірювальних приладів, а також задовільною збіжністю теоретичних та експериментальних результатів досліджень.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені алгоритм та методика розрахунку перфорованих елементів Z-подібного профілю в умовах косого згину за граничними станами першої і другої груп дозволяють обґрунтовано розраховувати та застосовувати такі профілі для використання їх як прогонів покриття промислових і громадських будівель з ухилом верхнього поясу несучих конструкцій в межах $0^\circ \dots 25^\circ$. Запропоновані в дисертаційній роботі формули для визначення напружень і деформацій є простими у використанні як для розрахунку моностаєвих, так і бістаєвих елементів симетричного або несиметричного перерізів. Вони можуть використовуватись не лише для Z-подібного профілю, а і для профілів у вигляді швелера або двотавра.

Окрім того, розроблено і видано рекомендації щодо розрахунку перфорованого прогону Z-подібного профілю в умовах косого згину за граничними станами першої і другої груп. Результати дисертаційних досліджень включено до програм навчальних дисциплін „Конструкції будівель і споруд з металу, деревини та пластмас” і „Прогресивні напрямки дослідження, проектування та застосування будівельних конструкцій”.

Особистий внесок здобувача. Найбільш суттєві експериментально-теоретичні результати досліджень, наведені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно і до них насамперед належать:

- розробка та обґрунтування конструктивної форми перфорованого прогону покриття Z-подібного профілю для покрівель з ухилом в межах $0^\circ \dots 25^\circ$ на основі рекомендацій щодо вибору раціональних параметрів розрізу вихідного профілю;

- виконання теоретичних досліджень напружено-деформованого стану перфорованих профілів, що працюють в умовах косого згину, за методом скінчених елементів у програмному комплексі „Ліра”;

- розробка алгоритму та методики розрахунку перфорованих елементів Z-подібного профілю в умовах косого згину за граничними станами першої і другої груп з урахуванням та без урахування закріплення із площини конструкції;
- проведення комплексних експериментальних досліджень розробленої конструкції прогону на зразку, що виконаний в натуральну величину;
- проведення порівняльного аналізу результатів експериментальних та теоретичних досліджень;
- розробка рекомендацій щодо розрахунку перфорованого прогону Z-подібного профілю в умовах косого згину за граничними станами першої і другої груп.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались і обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях „Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди” у м. Рівне (2012...2014 р.); Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції за міжнародною участю „Ресурсозберігаючі технології в проектуванні, землевпорядкуванні та будівництві” у м. Кременчук (2014 р.); XI міжнародній науково-практичній конференції „Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація” у м. Полтава (2014 р.); Науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів та студентів НУВГП у м. Рівне (2012...2014 рр.).

Публікації. Основні положення та експериментально-теоретичні дослідження за темою дисертаційної роботи опубліковані у 8 наукових працях, у тому числі 6 наукових публікацій у спеціалізованих фахових виданнях, внесених до переліку ВАК України, 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, 1 стаття у збірнику матеріалів конференції. Видано рекомендації, в яких наведено методику розрахунку перфорованих елементів за граничними станами першої і другої груп в умовах косого згину.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Загальний обсяг роботи становить 208 сторінок, у тому числі 153 сторінок основного тексту, 23 повних сторінок з рисунками та таблицями, 19 сторінок списку використаних джерел із 163 найменувань, 36 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, наведена загальна її характеристика, сформульовані мета та задачі дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, визначена її наукова новизна та практична цінність.

У першому розділі виконано огляд конструкцій, виготовлених на основі перфорованих елементів, аналіз експериментально-теоретичних досліджень таких елементів за дії різних силових факторів, а також конструкцій суцільного перерізу за їх роботи в умовах косого згину.

Покриття виробничих і громадських будівель проектується з використанням прогонів або без них. Покриття без прогонів є більш індустриальними і простішими під час виготовлення, але мають суттєвий недолік – велику вагу. Вага покрівлі з

використанням прогонів є значно меншою за рахунок невеликого прольоту огорожувальних елементів. Досягти компромісу між двома типами покриттів можна за рахунок використання прогонів з перфорованих профілів, які за витратами сталі наближаються до решітчастих, а за вартістю є на 10...15% дешевшими.

Питанням конструювання, раціонального використання балок з перфорованою стінкою та конструкцій на їх основі, а також експериментально-теоретичним дослідженням роботи перфорованих елементів присвячені праці П. Є. Бабичева, Е. І. Белені, С. І. Білика, В. В. Бірюльова, В. М. Добрачова, Л. Є. Дроб'язко, Ю. М. Дукарського, М. М. Жербіна, Я. А. Каплуна, М. П. Мельникова, О. І. Налепи, Я. І. Олькова, В. В. Романюка, Ю. М. Симакова, А. І. Складнєва, В. В. Супрунюка, В. Г. Чернашкіна, Ю. Л. Чернова, В. С. Чорнолоза, М. D. Allfillich, O. W. Blodgett, F. Faltus, C. Fleury, I. S. Gibson та інших вчених.

У другому розділі наведено результати теоретичних досліджень напружено-деформованого стану перфорованих елементів двотаврового, С- і Z-подібних профілів методом скінчених елементів у програмному комплексі „Ліра” та їх порівняння з вихідними прокатними профілями.

Виходячи з поставленої мети та задач досліджень було запроектовано перфоровані прогони прольотом $l = 6$ м з вихідного прокатного двотавра 20Б1/ГОСТ 26020–83 і швелера 22У/ДСТУ 3436–96 у вигляді С- і Z-подібного профілів (рис. 1), виходячи з умови їх однакової несучої здатності за граничними станами II групи.

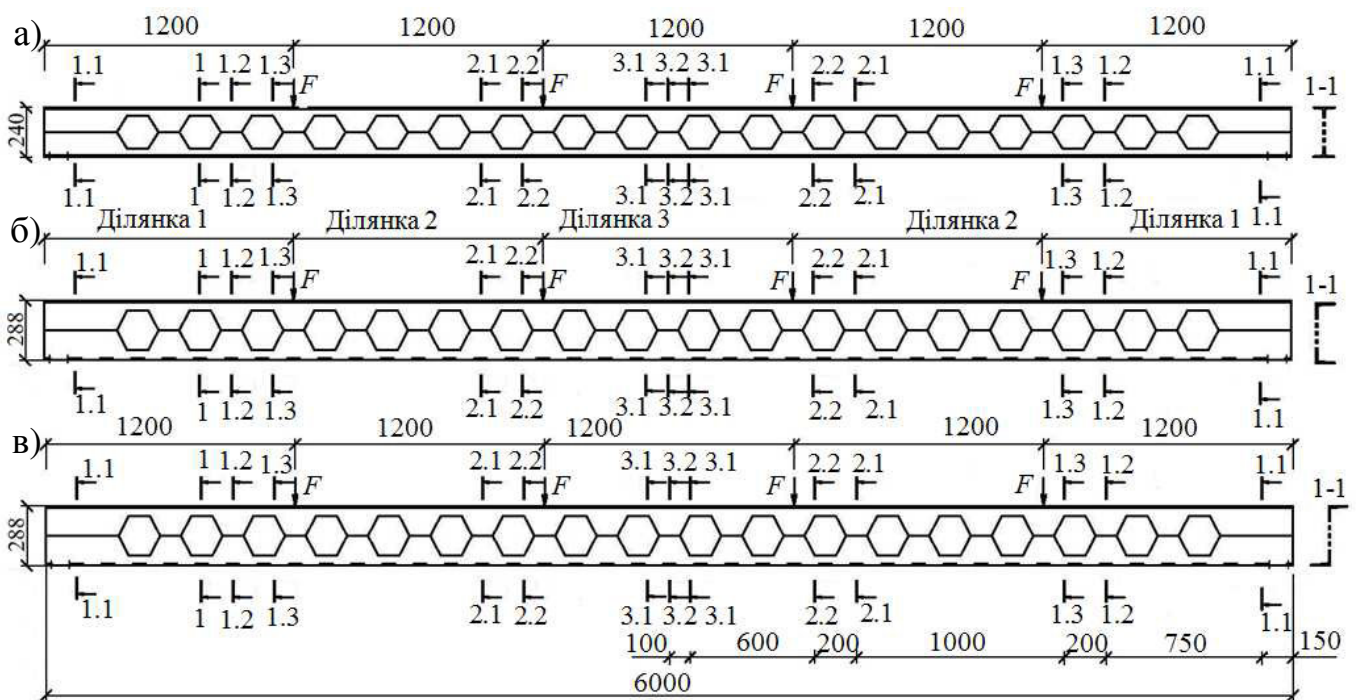


Рисунок 1 – Конструкції зразків, що досліджувалися
а – перфорований двотавр; б – перфорований С-подібний профіль;
в – перфорований Z-подібний профіль

Заміна рівномірно-розподіленого навантаження зосередженими силами виконувалася з умови рівності величини згинаючих моментів посередині прольоту конструкції від дії цих навантажень. Оскільки поперечна сила зменшується від краю

до середини прольоту, а згинаючий момент навпаки збільшується, то в прогоні можна виділити 3 характерні ділянки (рис. 2, а, б, в), на кожній з яких напруження визначались у 2-х перерізах: в перерізі з отвором в точках 1, 2, 3, 4 і в перерізі без отвору в точках 5 і 6 (рис. 2, г).

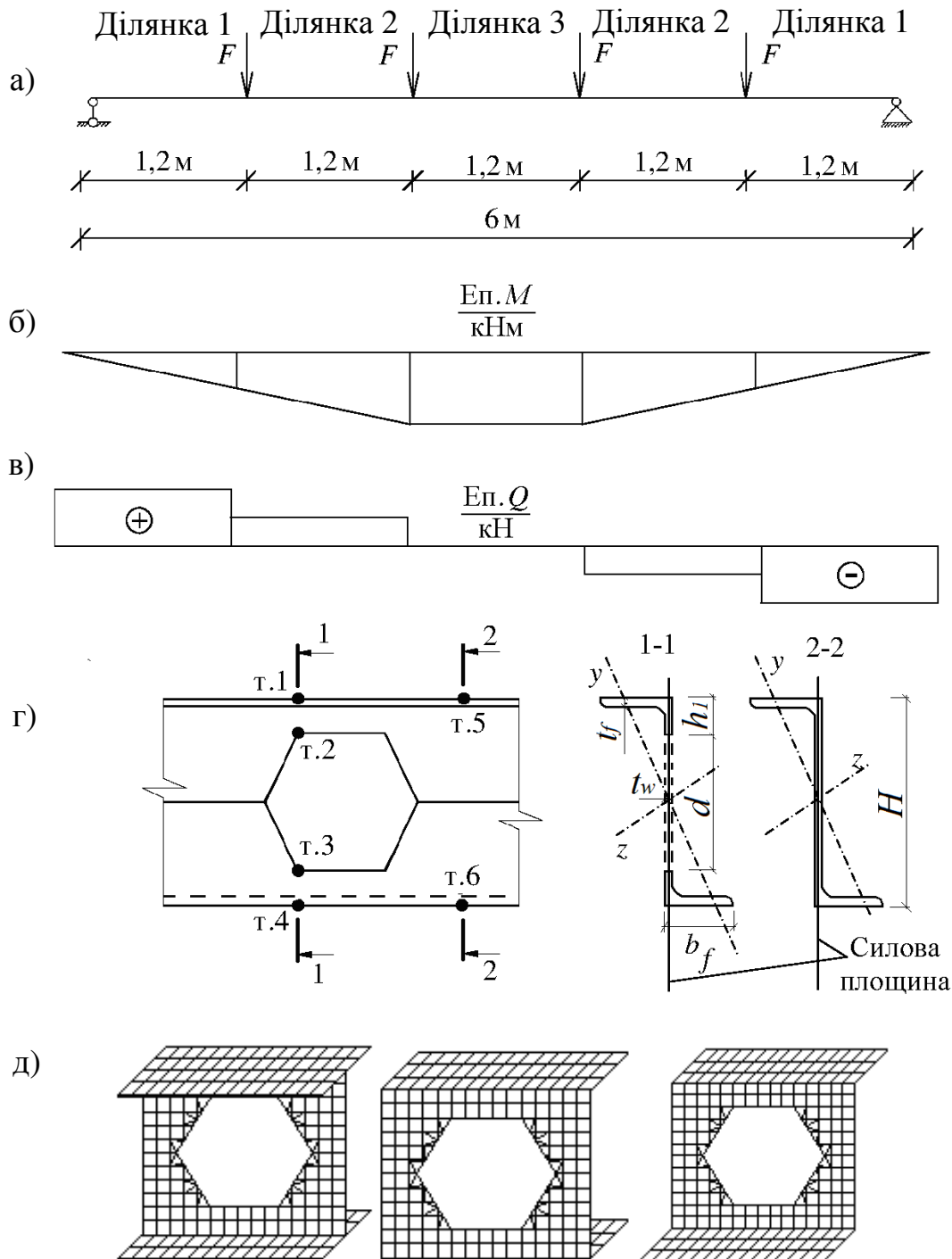


Рисунок 2 – Розрахункова схема прогону

а – схема прикладання навантаження; б – епюра згинальних моментів; в – епюра поперечних сил;
г – розрахункові перерізи; д – фрагменти перфорованого двотавра, С- і Z-подібних профілів,
розбитих на скінченні елементи

Моделювання конструкцій перфорованих прогонів в ПК „Ліра” виконувалось для двотаврового, С- і Z-подібних перерізів (див. рис. 2, д) для чого їх було поділено

сіткою скінчених елементів, виходячи з умови $a \geq 2t$ і $b \geq 2t$, де a, b – відповідно довжина і ширина скінченого елемента, t – товщини елементів (стінки і полиці), що розбиваються.

Згинальні елементи мають найбільшу несучу здатність, якщо напрямок дії зовнішнього навантаження збігається з площиною найбільшої жорсткості. У прогонах двотаврового та С-подібного профілів у покрівлях з ухилом така збіжність відсутня. У Z-подібних профілів головні осі інерції розміщені під певним кутом до центральних осей перерізу і тому найбільшій несучій здатності такий переріз досягає у випадку розміщення елемента під кутом (див. рис. 2, г).

У **третьому розділі** наведено програму, методику та результати натурних експериментальних досліджень конструкції прогону Z-подібного профілю довжиною 6 м, виготовленого з прокатного швелера №22У/ДСТУ 3436–96 з коефіцієнтом розвитку висоти профілю 1,2 (рис. 3).

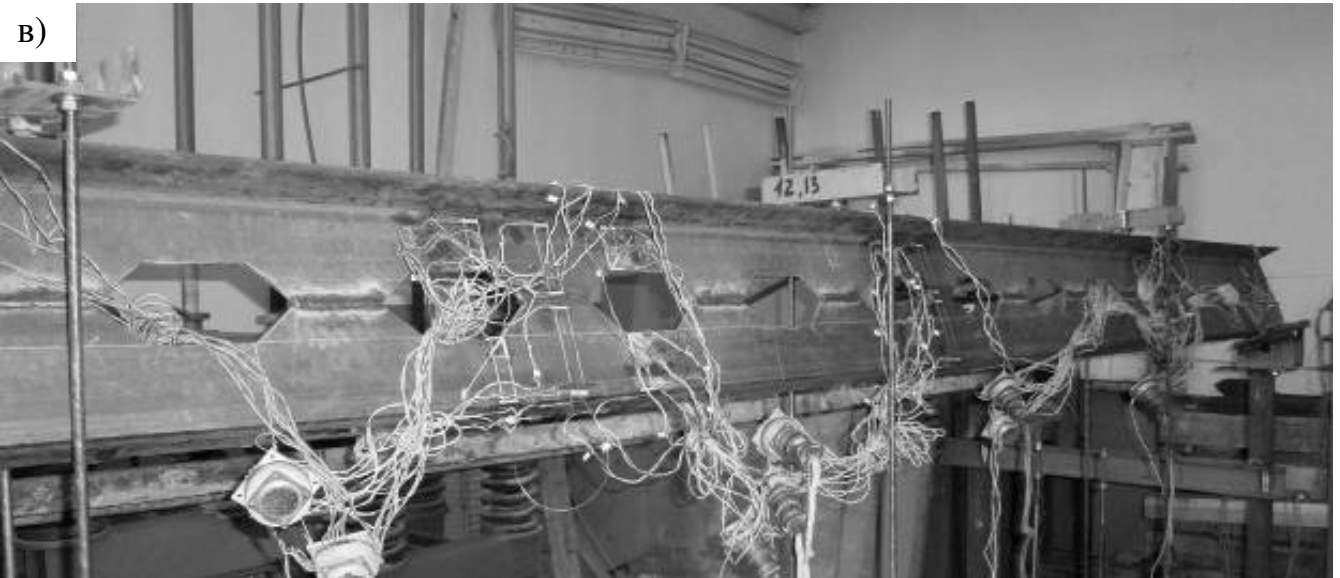
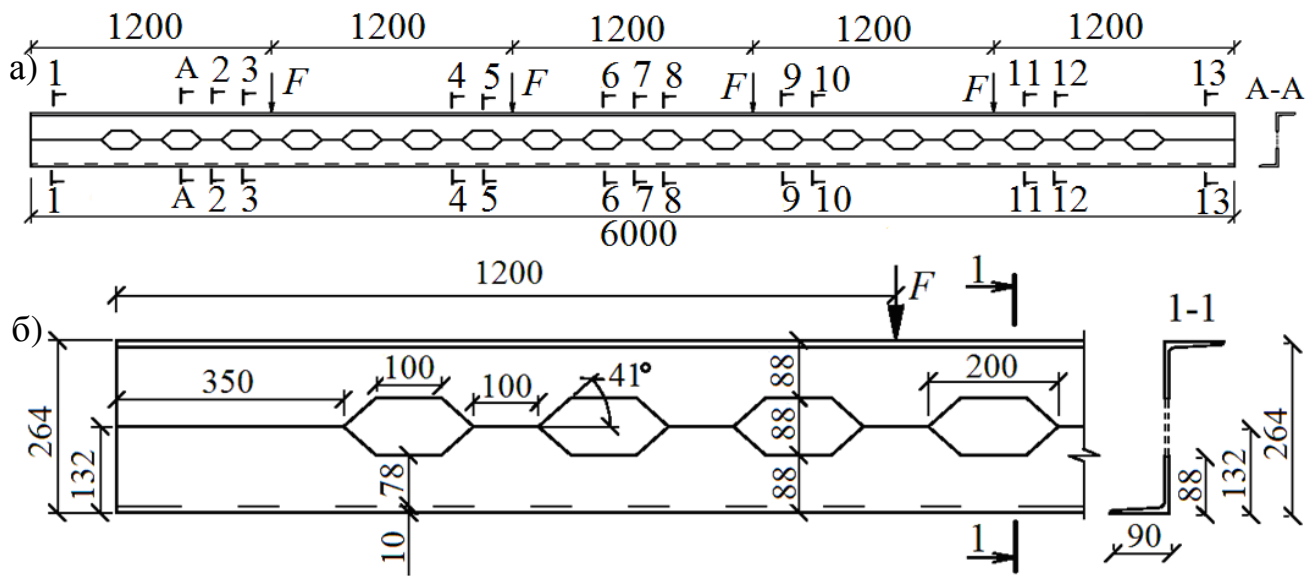
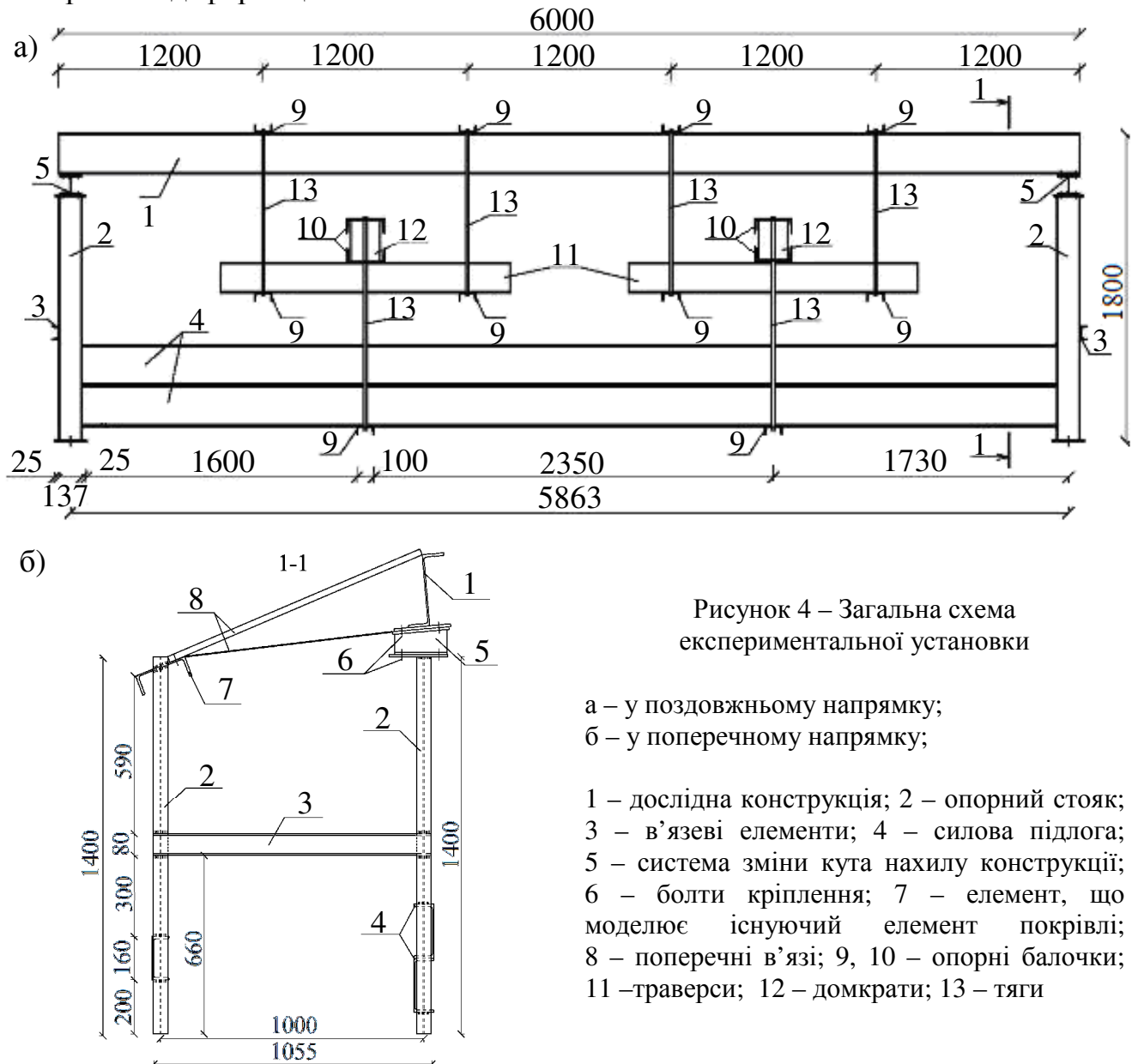


Рисунок 3 – Загальний вигляд дослідної конструкції перфорованого прогону прольотом 6 м
а – зовнішній вигляд; б – геометричні розміри; в – виготовлена конструкція

Для дослідження згинальних елементів, визначення їх дійсної роботи та напружено-деформованого стану було запроєктовано і виготовлено експериментальну установку, яка дозволяє проводити випробування конструкцій прольотом до 6 м з можливістю зміни кута нахилу дослідного зразка від 0° до 25° (рис. 4). Вона складається з двох плоских рам, які з'єднані розпівкою і утворюють просторову жорстку конструкцію. Одна з рам служить для закріплення дослідної конструкції у проектному положенні, а інша – для закріплення прогону від поперечних деформацій.



Для вимірювання деформацій волокон матеріалу використовувалися 128 електротензорезисторів з базою 20 мм у 13 характерних перерізах по довжині прогону (див. рис. 3, а). Для вимірювання переміщень використовувалися прогиноміри „6 ПАО-ЛИСИ” з ціною поділки 0,01 мм.

Було встановлено, що після досягнення рівня розрахункового навантаження 16,8 кН, визначеного для перфорованого профілю за граничними станами II групи, видимих руйнувань в конструкції не спостерігалось. Отримані значення напружень

при цьому становили $\sigma = 198 \text{ МПа}$, а вертикальні переміщення в прольоті прогону склали не більше $1/200$, а саме $27,28 \text{ мм}$ при допустимих 30 мм .

За вузлового навантаження величиною $20,9 \text{ кН}$ відбулася місцева втрата стійкості полиці і стінки верхнього поясу в перерізі з отвором, що призвело до загальної втрати стійкості стиснутого поясу на 3-й ділянці між точками закріплення (рис. 5). Запас несучої здатності за граничними станами II групи склав $1,1$. Максимальні напруження за дії вузлового навантаження $20,9 \text{ кН}$ були зафіксовані в точці 5 на ділянці 3 (див. рис. 2, а, г) і склали $\sigma_{\max} = 232 \text{ МПа}$.

На всіх етапах навантаження конструкції зміна напружень і деформацій в усіх характерних точках перерізів на усіх ділянках відбувалася за лінійним законом.

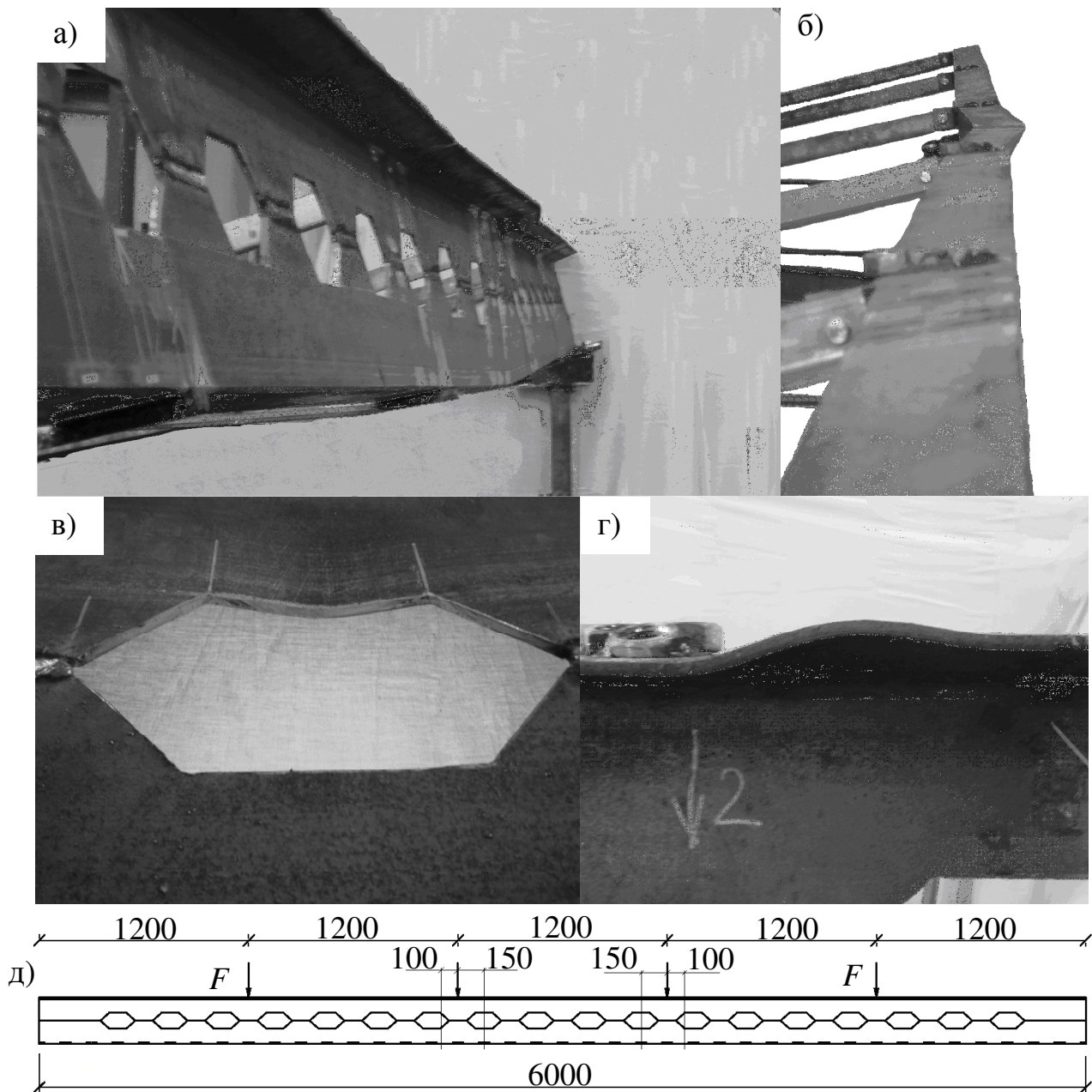


Рисунок 5 – Втрата стійкості елементів поперечного перерізу прогону
а – загальний вигляд прогону після руйнування; б – верхній пояс (вигляд з боку); в – втрата стійкості стінки; г – втрата стійкості полиці; д – перерізи в яких відбулася втрата стійкості

У четвертому розділі розроблено алгоритм, блок-схему, методику розрахунку та запропоновано формули для визначення напружено-деформованого стану перфорованого прогону Z-подібного профілю в умовах косого згину для моно- і бісталевих балок 1, 2 і 3 класів з симетричними і несиметричними по висоті поясами.

Числові дослідження в ПК „Ліра” були спрямовані на визначення характеру залежностей між кутом нахилу конструкції, коефіцієнтом розвитку висоти перерізу і відповідними їм навантаженнями, напруженнями і деформаціями. Ці залежності побудовані для всіх 3 характерних ділянок і всіх розрахункових точок перерізів з отворами і без них.

Характер залежності нормальних напружень від кута нахилу конструкції близький до гіперболічної і засвідчує, що величини напружень, які виникають в перерізі перфорованого елемента, менші за напруження для суцільного перерізу, а для перфорованих профілів ці напруження є найбільшими на ділянці 3, де є найбільший згинаючий момент і відсутня поперечна сила (рис. 6).

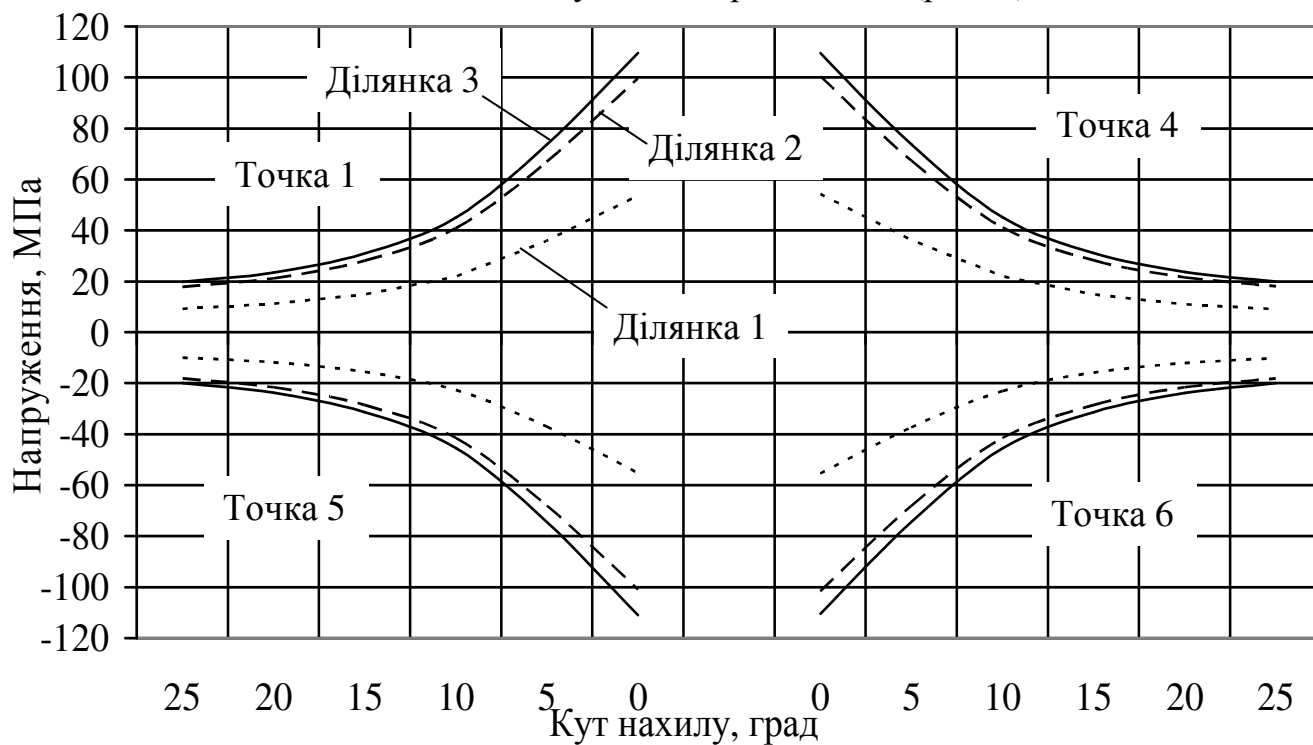


Рисунок 6 – Нормальні напруження залежно від кута нахилу конструкції перфорованого прогону у характерних перерізах в точках 1, 4, 5, 6

Визначення величини розрахункового навантаження для різних коефіцієнтів розвитку перерізів проводилося для швелерів від №18 до №40 і засвідчило однаковий характер залежностей зміни навантаження за граничними станами І і ІІ груп незалежно від номера вихідного швелера (рис. 7).

Оскільки під час експлуатації на прогони обпирається настил, то було досліджено характер зміни величини навантаження за граничними станами І і ІІ груп, як для прогону закріпленого від поперечних деформацій, так і без закріплення. Характер зміни величини навантаження є майже прямолінійним для прогонів з закріпленням, а для прогонів без закріплення найбільше навантаження, що може сприйняти перфорований прогон спостерігається для кутів нахилу

близьких до 15° , що відповідає збігу силової площини з головною віссю інерції для дослідної конструкції прогону (рис. 8).

Залежність зміни величини прогинів залежно від кута нахилу перфорованого прогону мають подібний характер і найменші прогини також спостерігаються для кута нахилу 15° і найбільшого можливого коефіцієнта розвитку перерізу 1,5 (рис. 9).

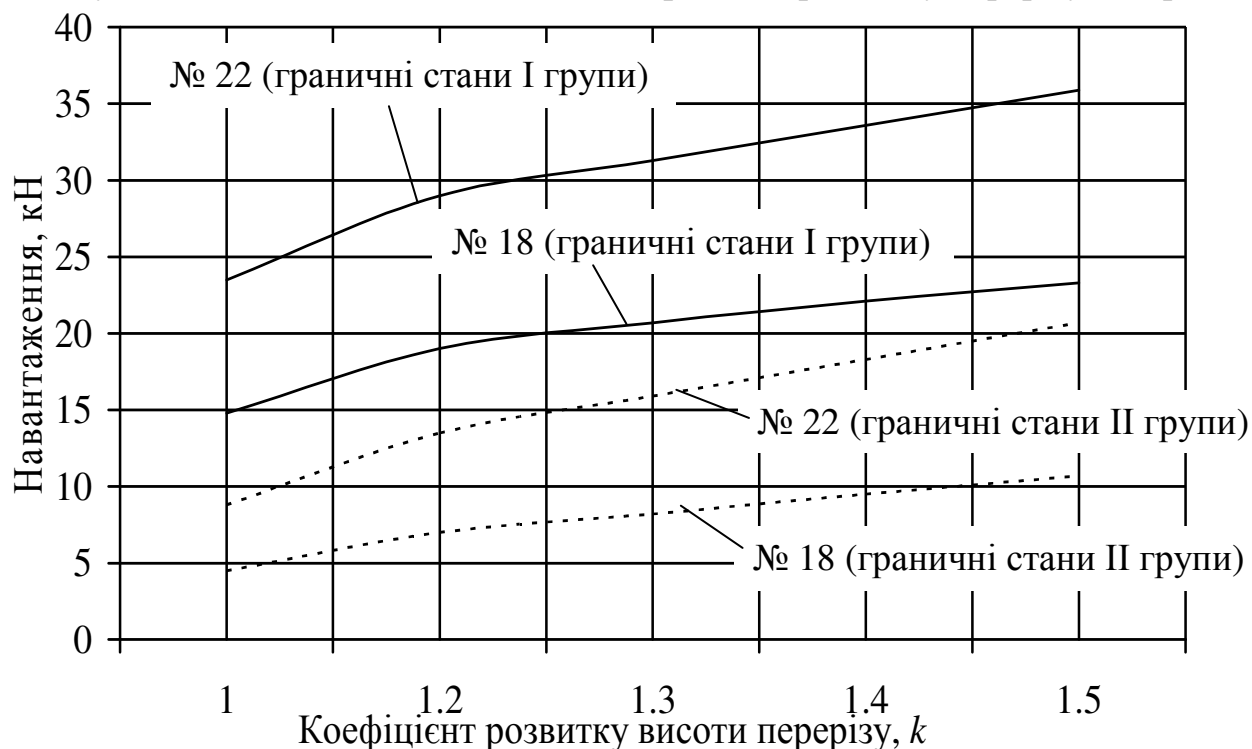


Рисунок 7 – Несуча здатність перфорованого прогону за граничними станами I і II груп залежно від коефіцієнта розвитку висоти перерізу k для вихідних швелерів № 18 і № 22

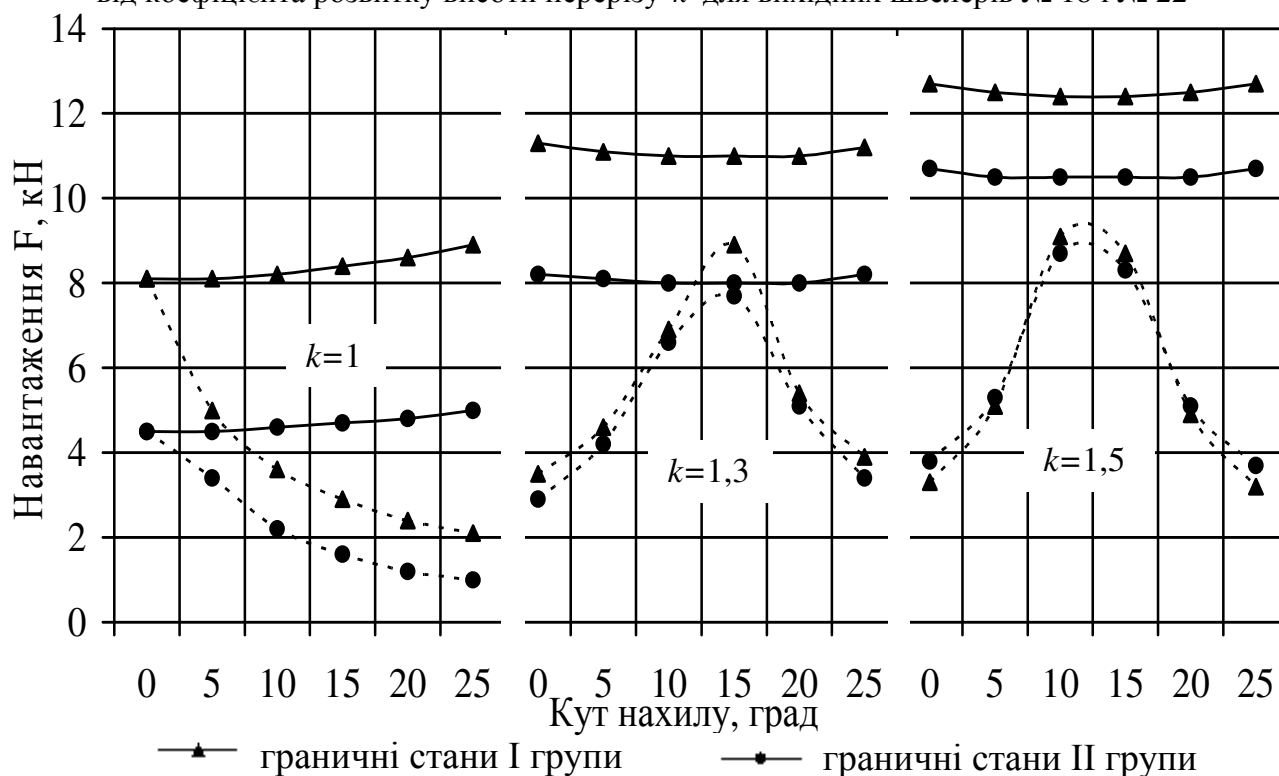


Рисунок 8 – Несучі здатності перфорованих прогонів з урахуванням поперечних деформацій і без них, якщо $k = 1$, $k = 1,3$ і $k = 1,5$ для вихідного профілю № 18 (пунктирною – з урахуванням деформацій; суцільною – без урахування)

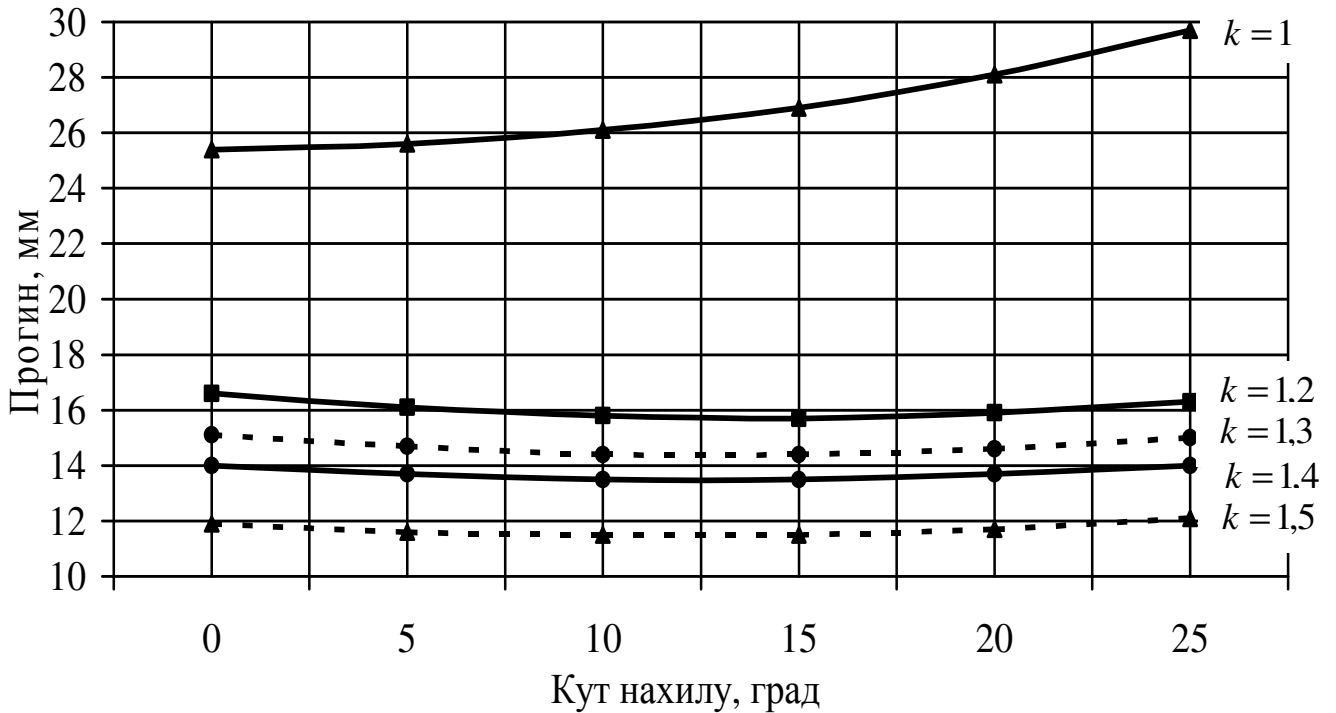


Рисунок 9 – Прогини перфорованих прогонів для вихідного профілю №22 залежно від кута нахилу конструкції

В поперечному перерізі ділянок 1 і 2 виникає косий згин, оскільки тут присутні як згинаючі моменти, так і поперечні сили (рис. 10). Спираючись на принцип незалежності дії сил, повні нормальні напруження (1) в точці С поперечного перерізу прогону дорівнюють сумі напружень від окремої дії моментів (2)

$$\sigma = \sigma_{M_z} + \sigma_{M_y} = \pm(M_z / J_z) y \pm (M_y / J_y) z; \quad (1)$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2}; M_z = M \cos \alpha; M_y = M \sin \alpha. \quad (2)$$

Головні осі інерції повернуті на деякий кут від центральних осей, що зумовлено несиметричністю перерізу (рис. 11). Наприклад, для досліджуваного Z-подібного прогону цей кут складатиме 14° і тому найбільша несуча здатність перерізу досягатиметься саме за такого кута нахилу покрівлі.

Оскільки косий згин представляє собою поєднання двох прямих згинів, то переміщення вздовж осей інерції можна визначити за формулами:

$$\begin{cases} \delta_y = (F_y / EJ_z) f(x); \\ \delta_z = (F_z / EJ_y) f(x). \end{cases} \quad (3)$$

Загальний прогин будь-якої точки конструкції визначається за формулами методу початкових параметрів:

$$\begin{cases} EJ\theta_{xi} = EJ\theta_0 + \sum M_{xi} (x_i - a) + \sum F_{xi} \frac{(x_i - b)^2}{2} + \sum q_{xi} \frac{(x_i - c)^3}{6}; \\ EJv_{xi} = EJv_0 + EJ\theta_0 x_i + \sum M_{xi} \frac{(x_i - a)^2}{2} + \sum F_{xi} \frac{(x_i - b)^3}{6} + \sum q_{xi} \frac{(x_i - c)^4}{24}. \end{cases} \quad (4)$$

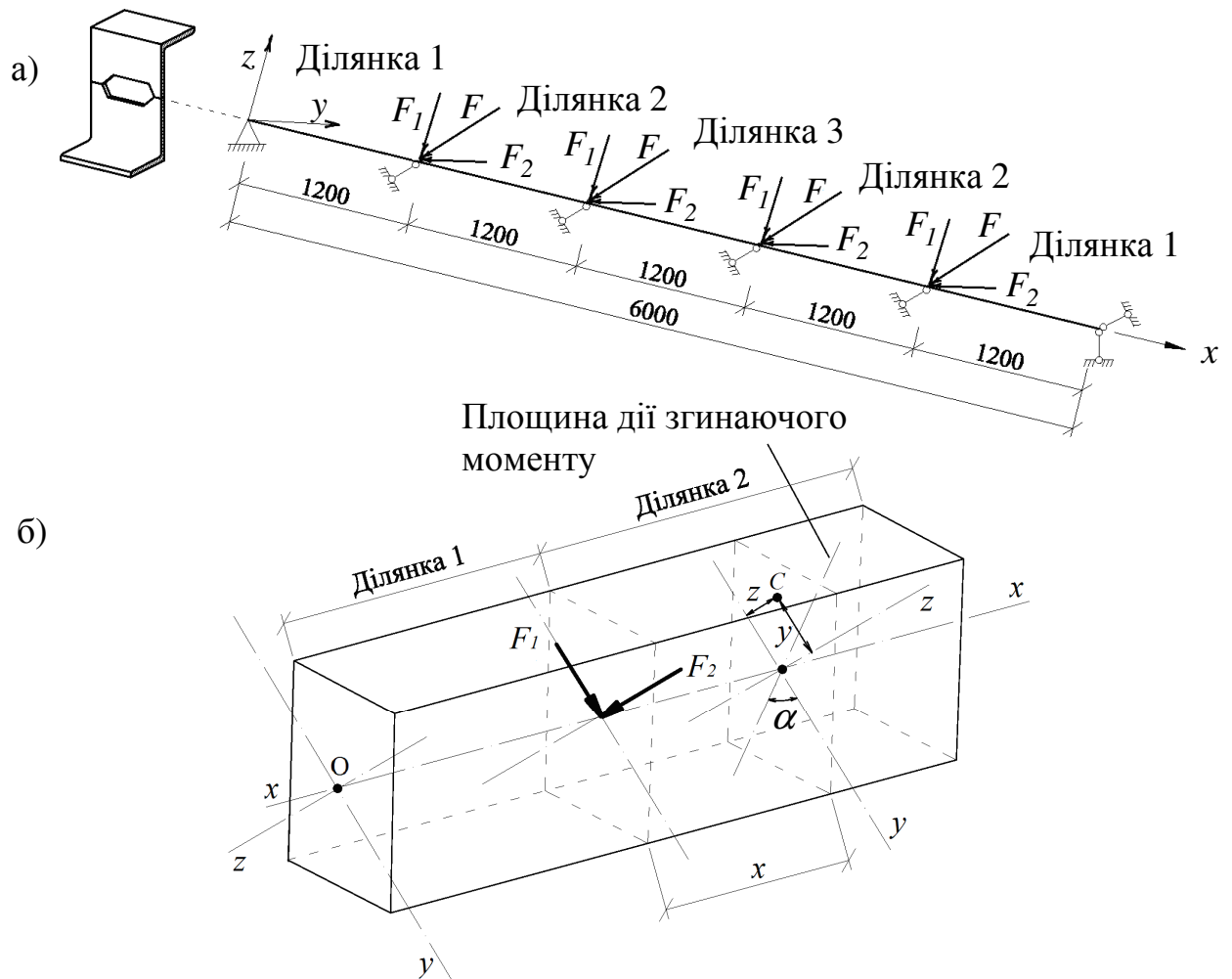


Рисунок 10 – Складний опір перфорованого профілю
а – розрахункова схема прогону; б – фрагмент стінки прогону

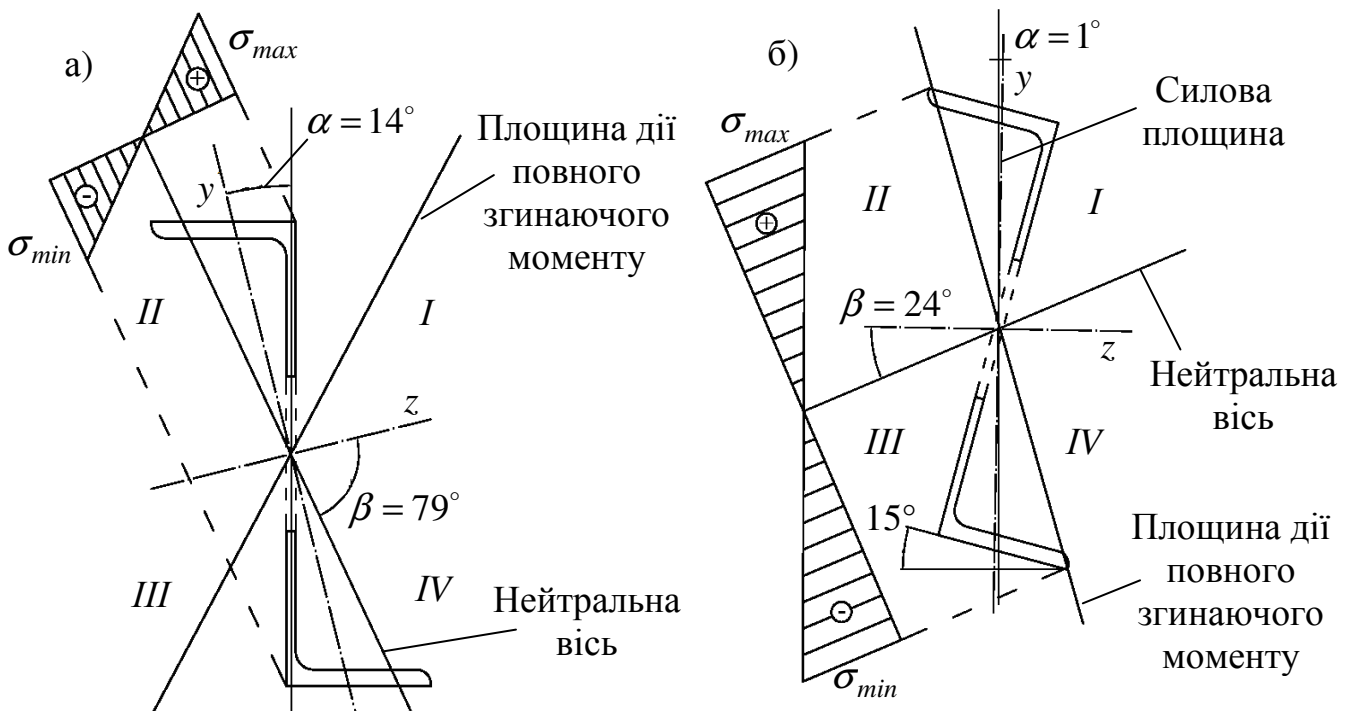


Рисунок 11 – Небезпечні точки перфорованого прогону залежно від кута нахилу конструкції
а – кут нахилу 0° ; б – кут нахилу 15°

Відстань між точками закріплення із площини конструкції не повинна перевищувати значень обчислених за формулою норм проектування

$$\frac{l_{ef}}{b_f} = \left[0,35 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left(0,76 - 0,02 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_0} \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}}. \quad (5)$$

Для розрахунку перфорованих прогонів як балок 1-го класу в умовах косого згину пропонується використовувати формули:

$$\text{верхній пояс, точка 1 } \sigma_{sup1} = \frac{M_z h_1}{J_z} + \frac{Q_{sup1} a}{2 W_{sup,max}} \pm \frac{M_y}{W_y} \leq R_y \gamma_c; \quad (6)$$

$$\text{верхній пояс, точка 2 } \sigma_{sup2} = \frac{M_z d_1}{J_z} + \frac{Q_{sup2} a}{2 W_{sup,min}} \pm \frac{M_y}{W_y} \leq \frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u}; \quad (7)$$

$$\text{нижній пояс, точка 3 } \sigma_{inf3} = \frac{M_z h_2}{J_z} + \frac{Q_{inf1} a}{2 W_{inf,max}} \pm \frac{M_y}{W_y} \leq R_y \gamma_c; \quad (8)$$

$$\text{нижній пояс, точка 4 } \sigma_{inf4} = \frac{M_z d_2}{J_z} + \frac{Q_{inf2} a}{2 W_{inf,min}} \pm \frac{M_y}{W_y} \leq \frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u}; \quad (9)$$

$$\text{точки 5 і 6 } \sigma_{5,6} = \frac{M_z h_1}{J_z} + \frac{M_y}{W_y} \leq R_y \gamma_c. \quad (10)$$

Для розрахунку на міцність розрізних балок 2-го і 3-го класів пропонується виконувати за формулами:

$$\text{верхній пояс, точка 1 } \sigma_{sup1} = \frac{M_z h_1}{c_x \beta J_z} + \frac{Q_{sup1} a}{2 W_{sup,max}} \pm \frac{M_y}{c_y W_y} \leq R_y \gamma_c; \quad (11)$$

$$\text{верхній пояс, точка 2 } \sigma_{sup2} = \frac{M_z d_1}{c_x \beta J_z} + \frac{Q_{sup2} a}{2 W_{sup,min}} \pm \frac{M_y}{c_y W_y} \leq \frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u}; \quad (12)$$

$$\text{нижній пояс, точка 3 } \sigma_{inf3} = \frac{M_z h_2}{c_x \beta J_z} + \frac{Q_{inf1} a}{2 W_{inf,max}} \pm \frac{M_y}{c_y W_y} \leq R_y \gamma_c; \quad (13)$$

$$\text{нижній пояс, точка 4 } \sigma_{inf4} = \frac{M_z d_2}{c_x \beta J_z} + \frac{Q_{inf2} a}{2 W_{inf,min}} \pm \frac{M_y}{c_y W_y} \leq \frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u}; \quad (14)$$

$$\text{точки 5 і 6 } \sigma_{5,6} = \frac{M_z h_1}{c_x \beta J_z} + \frac{M_y}{c_y W_y} \leq R_y \gamma_c, \quad (15)$$

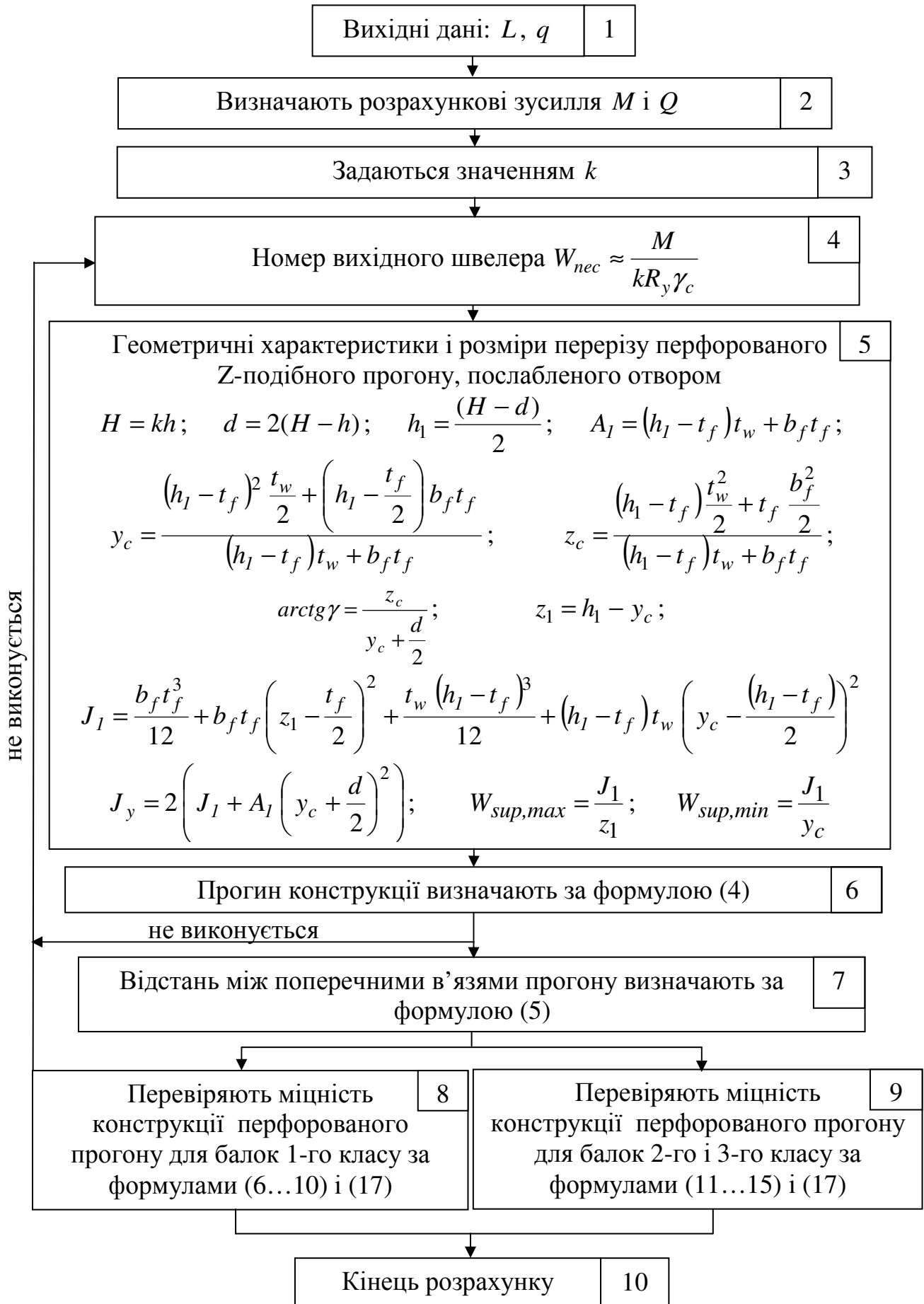
де $\beta = 1$, якщо $\tau_y \leq 0,5 R_s$; якщо $0,5 R_s < \tau_y \leq 0,9 R_s$

$$\beta = 1,0 - \frac{0,2}{\alpha_f + 0,25} \left(\frac{\tau_y}{R_s} \right)^4. \quad (16)$$

Нормальні напруження на ділянці 2 визначають за формулою

$$0,87 \sqrt{\sigma_z^2 - \sigma_z \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \tau_{zy}^2} \leq R_y \gamma_c. \quad (17)$$

Блок схема розрахунку перфорованого Z-подібного прогону



У п'ятому розділі виконано числовий розрахунок перфорованого прогону Z-подібного профілю на основі розробленого алгоритму, який підтвердив можливість використання запропонованої методики розрахунку перфорованих елементів, що працюють в умовах косого згину.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1) В дисертаційній роботі на основі аналізу існуючих конструктивних рішень перфорованих конструкцій та експериментально-теоретичних досліджень їх напружено-деформованого стану запропоновано та обґрунтовано конструктивну форму перфорованого прогону у вигляді Z-подібного профілю

2) Встановлено можливість використання методу скінчених елементів, реалізованого в програмному комплексі „Ліра”, для визначення напружень в характерних перерізах перфорованого прогону Z-подібного профілю в умовах косого згину. Розбіжність між результатами обчислень за чинними нормами проектування і МСЕ на 1-й, 2-й і 3-й розрахункових ділянках становить відповідно 21 %, 13 % і 9 %, що свідчить про необхідність корегування формул зазначених норм для обчислення напружень в характерних точках перерізів, особливо на ділянці 1, де має місце велика поперечна сила і малий згинаючий момент.

3) Розроблено конструкцію дослідного зразка перфорованого прогону Z-подібного профілю довжиною 6 м на основі вихідного швелера №22У/ДСТУ 3436–96 з коефіцієнтом розвитку висоти перерізу 1,2 та дослідну установку, яка дозволяє закріпити конструкцію в площині та із площини відповідно до прийнятої розрахункової схеми та виконувати експериментальні дослідження згинальних елементів прольотом 6 м в умовах поперечного і косого згинів з можливістю зміни кута нахилу в діапазоні $0^{\circ} \dots 25^{\circ}$ відповідно до ухилу покрівлі будівлі.

4) Вперше отримано нові експериментальні дані про напружено-деформований стан перфорованих елементів Z-подібного профілю, що працюють в умовах косого згину, в характерних точках поперечних перерізів з отворами і без них на трьох розрахункових ділянках по довжині прогону. Встановлено, що середні відхилення експериментальних значень від теоретичних, визначених за МСЕ, в характерних перерізах перфорованого прогону для ділянок 1, 2 і 3 відповідно склали 14%, 9% і 7% в запас міцності конструкції. Сумарні експериментальні деформації перфорованого прогону Z-подібного профілю відрізняються від теоретичних в середньому на 9%. Значення деформацій в усіх характерних точках по довжині конструкції за дії розрахункового експлуатаційного навантаження $F = 16,8$ кН, визначеного за граничними станами другої групи, не перевищували граничного прогину $1/200 L$, встановленого нормами проектування конструкцій і склали 28,27 мм. Руйнування перфорованого прогону відбулося через втрату місцевої стійкості полиці та стінки на третій ділянці конструкції, де має місце максимальний згинальний момент, що призвело до загальної втрати стійкості верхнього поясу прогону на ділянці 3 між точками закріплення. Коефіцієнт запасу за деформаціями склав 1,1.

5) Запропоновано формули для визначення напружень в характерних точках перфорованих елементів з отворами і без них в умовах косого згину для розрахунку з урахуванням та без урахування пружно-пластичних деформацій. Визначено деформації конструкції перфорованого Z-подібного профілю та положення лінії деформування відносно головних центральних осей перерізу, нейтральної осі та площини дії повного згинаючого моменту, залежно від відстані між точками закріплення із площини конструкції.

6) Розроблено алгоритм, блок-схему та методику розрахунку перфорованого Z-подібного прогону за граничними станами I та II груп для балок 1, 2 та 3-го класів симетричного та несиметричного перерізів для моно- та бісталевих елементів з урахуванням та без урахування закріплень конструкції із площини дії навантажень. На цій основі виконано числові дослідження у вигляді прикладу розрахунку прогону прольотом 6 м за дії реальних навантажень на конструкцію.

7) За результатами експериментально-теоретичних досліджень розроблено та видано рекомендації щодо розрахунку перфорованого прогону Z-подібного профілю в умовах косого згину за граничними станами I і II груп, які впроваджено в навчальний процес та в практику проектування конструкцій покриття.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1) Романюк В. В. Покриття виробничих і громадських будівель з використанням металевих конструкцій / В. В. Романюк, В. Б. Василенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне, 2012. – Випуск 24. – С. 385–390.

(Встановлено ефективність використання перфорованих прогонів порівняно з аналогічними існуючими конструктивними елементами покриттів).

2) Романюк В. В. Методика проведення експериментальних досліджень перфорованих прогонів в умовах косого згину / В. В. Романюк, В. Б. Василенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне, 2013. – Випуск 25. – С. 405–411.

(Розроблено дослідну конструкцію та дослідну установку для проведення експериментальних досліджень в натурну величину).

3) Романюк В. В. Розрахунок перфорованих елементів в програмному комплексі „Ліра” / В. В. Романюк, В. Б. Василенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне, 2013. – Випуск 25. – С. 412–417.

(Виконано теоретичні розрахунки перфорованого прогону Z-подібного профілю методом скінчених елементів у програмному комплексі „Ліра”).

4) Романюк В. В. Дослідження напружено-деформованого стану перфорованого двотаврового прогону в ПК „Ліра” / В. В. Романюк, В. Б. Василенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне, 2013. – Випуск 27. – С. 174–181.

(Виконано теоретичні розрахунки перфорованого двотаврового прогону методом скінчених елементів у програмному комплексі „Ліра”).

5) Романюк В. В. Напружений стан перфорованих елементів, що працюють в умовах косого згину / В. В. Романюк, В. Б. Василенко // Ресурсоекономні матеріали,

конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне, 2014. – Випуск 29. – С. 322–333.

(Виконано порівняльний аналіз різних методик розрахунку напружено-деформованого стану перфорованого прогону Z-подібного профілю).

6) Романюк В. В. Дослідження напружено-деформованого стану перфорованого Z-подібного прогону в ПК „Ліра” / В. В. Романюк, В. Б. Василенко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції за міжнародною участю „Ресурсозберігаючі технології в проектуванні, землевпорядкуванні та будівництві”. – Кременчук, 2014. – С. 94 – 107.

(Виконано теоретичні розрахунки перфорованого прогону Z-подібного профілю методом скінчених елементів у програмному комплексі „Ліра” на міцність та деформативність).

7) Романюк В. В. Дослідні конструкція та установка для проведення експериментальних досліджень напружено-деформованого стану перфорованого прогону Z-подібного профілю в умовах косого згину / В. В. Романюк, В. Б. Василенко // Зб. наук. праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : ПНТУ, 2014. – Випуск 3(42). – С. 105–107.

(Удосконалено конструкцію дослідної установки для проведення експериментальних досліджень перфорованого прогону прольотом 6 м у натурну величину).

8) Романюк В. В. Деформативность конструкции перфорированного прогона Z-образного профиля в условиях косого изгиба / В. В. Романюк, В. Б. Василенко // Вестник Белорусско-Российского университета. – Могилев, Республика Беларусь. – 2015. – № 1. – С. 111–119.

(Розрахунок перфорованого прогону Z-подібного профілю на деформативність за різних кроків закріплення поперечних в'язей).

9) Романюк В. В. Розрахунок перфорованих Z-подібних профілів в умовах косого згину: Рекомендації / В. В. Романюк, В. Б. Василенко. – Рівне, 2015. – 44 с.

(Наведено методику розрахунку перфорованих елементів, що працюють в умовах косого згину за граничними станами першої та другої груп та виконано приклад їх розрахунку).

АНОТАЦІЯ

Василенко В. Б. Напружено-деформований стан перфорованих прогонів Z-подібного профілю в умовах косого згину. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, 2015.

Дисертаційну роботу присвячено вивченню роботи та напружено-деформованого стану перфорованих прогонів Z-подібного профілю в умовах косого згину.

Отримано нові експериментальні дані щодо роботи і несучої здатності сталевих перфорованих прогонів Z-подібного профілю в умовах косого згину за граничними станами першої і другої груп.

Запропоновано формули для визначення напружень в характерних точках перфорованих елементів в перерізах з отворами і без них в умовах косого згину для розрахунку з урахуванням та без урахування пружно-пластичних деформацій. Визначено деформації конструкції перфорованого Z-подібного профілю та положення лінії деформування відносно головних центральних осей перерізу, нейтральної осі та площини дії повного згинаючого моменту залежно від відстані між точками закріплення із площини конструкції.

Розроблено алгоритм та методику розрахунку перфорованого Z-подібного прогону за граничними станами I та II груп для балок 1, 2 та 3-го класів симетричного та несиметричного перерізів для моно- та бісталевих елементів з урахуванням та без урахування закріплень конструкції із площини дії навантажень.

Ключові слова: прогон, перфорований профіль, косий згин, несуча здатність, деформативність, блок-схема розрахунку.

АННОТАЦИЯ

Василенко В. Б. Напряженно-деформированное состояние перфорированных прогонов Z-образного профиля в условиях косого изгиба. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно, 2015.

Диссертационная работа посвящена изучению напряженно-деформированного состояния перфорированных прогонов Z-образного профиля в условиях косого изгиба.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, изложены цель и задачи исследований, связь работы с научными программами, научная новизна, практическая ценность работы, представлена ее общая характеристика.

В первом разделе выполнен обзор конструкций, изготовленных на основе перфорированных элементов, анализ экспериментально-теоретических исследований таких элементов при действии различных силовых факторов, а также конструкций сплошного сечения при их работе в условиях косого изгиба.

Второй раздел содержит результаты теоретических исследований напряженно-деформированного состояния перфорированных элементов двутаврового, С- и Z-образного профилей методом конечных элементов в программном комплексе „Лира” и их сравнение с прокатными профилями.

В третьем разделе представлена программа и методика проведения экспериментальных исследований конструкции прогона Z-образного профиля в условиях косого изгиба.

Для достижения поставленной цели и реализации задач исследований были проведены натурные экспериментальные исследования конструкции прогона Z-образного профиля длиной 6 м с коэффициентом развития высоты исходного сечения 1,2 в условиях косого изгиба на специально изготовленном стенде.

Получены новые экспериментальные данные работы и несущей способности стальных перфорированных прогонов Z-образного профиля в условиях косого изгиба.

В четвертом разделе предложены формулы для определения напряженно-деформированного состояния перфорированного прогона Z-образного профиля в условиях косоугольного изгиба для моно- и бистальных балок 1, 2 и 3-го классов с симметричными и несимметричными по высоте поясами для расчета с учетом и без учета упругопластических деформаций.

Определены деформации конструкции перфорированного Z-образного профиля и положение линии деформирования относительно главных центральных осей сечения, нейтральной оси и плоскости действия полного изгибающего момента в зависимости от расстояния между точками закрепления из плоскости конструкции.

Разработаны алгоритм и методика расчета перфорированного прогона Z-образного профиля по граничным состояниям I и II групп для балок 1, 2 и 3-го классов симметричного и несимметричного сечений для моно- и бистальных элементов с учетом и без учета закрепления конструкции из плоскости действия нагрузок.

В пятом разделе выполнен числовой расчет перфорированного прогона Z-образного профиля на основе разработанного алгоритма, который подтвердил возможность использования предложенной методики расчета перфорированных элементов в условиях косоугольного изгиба.

Ключевые слова: прогон, перфорированный профиль, косоугольный изгиб, несущая способность, деформативность, блок-схема расчета.

ANNOTATION

Vasylenko V. B. Strength and deformability of Z-type perforated summers under slanting bend conditions. – Manuscript.

The dissertation is on receiving of the scientific degree on speciality Candidate of technical sciences due to the specialization 05.23.01 – building constructions, buildings and structures. – National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne, 2015.

Bearing capacity and deformability resistance of Z-type perforated summers under slanting bend conditions.

New research data due to work, bearing capacity and deformability of Z-type perforated summers were received.

Formulas for determining of stresses in the corresponding points of perforated elements with holes and without them under slanting bend conditions for determining with and without elastic-plastic deformations were recommended. Deformations of Z-type perforated elements and position deformation line towards main section central axis, neutral line and full bending moment plane towards distance between joint points were determined.

Algorithm and calculation methodic of Z-type perforated summers using I and II boundary condition for summers of 1, 2 and 3rd class symmetrical and unsymmetrical sections with and without construction fixing was developed.

Keywords: summer, perforated element, slanting bend, bearing capacity, deformability, block-scheme.

Підписано до друку 03.09.2015 р. Формат 60×90 ¹/₁₆.
Папір друкарський № 1. Гарнітура Times.
Друк різнографічний. Ум.-друк. арк. 0,9.
Тираж 100 прим. Зам. № 4671.

Видавець і виготовлювач
Редакційно-видавничий відділ Національного університету
водного господарства та природокористування,
33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.